Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Harms

Bewegungs- und Geschwindigkeitsablauf der raschen Phase des optokinetischen Nachnystagmus

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Linde Waidelich

aus Stuttgart

1963

7482

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen

Direktor: Professor Dr. H a r m s

- -

BEWEGUNGS- UND GESCHWINDIGKEITSABLAUF DER RASCHEN PHASE DES OPTOKINETISCHEN NACHNYSTAGMUS

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Linde Waidelich
aus Stuttgart
1963

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dekan: Professor Dr. Dr. E. F r ö h l i c h

1.Berichterstatter: Professor Dr. G. M a c k e n s e n

2.Berichterstatter: Professor Dr. H. H a r m s

Gliederung der Arbeit

EINLEITUNG: 1

METHODIK: Auslösung des Nystagmus 2

Registrierung 2

Aufzeichnung der Potentialschwankungen 4

Eichung 5

Auswertung der Kurven 9

Grenzen der Genauigkeit und Fehlermöglichkeiten. . 11

ERGEBNISSE: Bewegungsablauf 13

Geschwindigkeitsablauf 18

Maximalgeschwindigkeiten 19

Dauer der Rucke 21

BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE:. 23

ZUSAMMENFASSUNG: 25

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547607_0033

E I N L E I T U N G

Als optokinetischen Nystagmus bezeichnet man rhythmische Augenbewegungen, die durch bewegte Konturen ausgelöst werden.

Optokinetischer Nachnystagmus ist die Bezeichnung für Nystagmusrucke, die noch nach Beendigung der optokinetischen Reizung entstehen. Der Nachnystagmus tritt nach Untersuchungen von MACKENSEN, KRIEGER und BENDER nur im Dunkeln deutlich hervor.

Der Nachnystagmus besteht wie der initiale Nystagmus aus einer langsamen Phase, bei der die Augen in die Bewegungsrichtung des Reizmusters abgelenkt werden, und aus einer raschen Phase, die entgegengesetzt zur Laufrichtung des Reizmusters verläuft. Der Nachnystagmus unterscheidet sich vom Nystagmus durch eine ständig kleiner werdende Frequenz, Amplitude und Stärke und durch eine zunehmende Unregelmäßigkeit in der Schlagfolge. Ein weiterer Unterschied des Nachnystagmus wird in dieser Arbeit beschrieben, er bezieht sich auf den Verlauf der raschen Phase des Nachnystagmus. SCHUMACHER untersuchte in einer früheren Arbeit den Verlauf der raschen Nystagmusphase. Die hier vorgelegte Dissertation charakterisiert den Ablauf der raschen Phase des Nachnystagmus und vergleicht ihn mit dem Ablauf des Nystagmus, um festzustellen, ob der Nystagmus und der Nachnystagmus in derselben Weise verlaufen, oder ob in ihrem Ablauf grundsätzliche Unterschiede bestehen.

METHODIK

Zur Auslösung des optokinetischen Nystagmus und Nachnystagmus wurde die Versuchsperson in den Mittelpunkt eines Hohlzylinders gesetzt, der um eine vertikale Achse gedreht wurde. Der Zylinder hat eine Höhe von 100 cm und einen Durchmesser von 87 cm. Auf seiner Innenseite ist das Reizmuster aus stark kontrastierenden, senkrecht verlaufenden schwarzen und weißen Streifen von je 5 cm Breite angebracht. Eine Lampe von 100 W über dem Kopf der Versuchsperson erleuchtet das Innere des Zylinders. Die Leuchtdichte der weißen Streifen beträgt in Augenhöhe etwa 120 asb, die der schwarzen etwa 1/10 dieses Wertes. Der Kopf der Versuchsperson ist in 44 cm Entfernung vom Streifenmuster in einer Kinnstütze fixiert.

Der Zylinder wird durch einen Elektromotor in gleichförmige Umdrehung versetzt. Die Umlaufgeschwindigkeit läßt sich nach beiden Richtungen zwischen $20^{\circ}\ sec^{-1}$ und $150^{\circ}\ sec^{-1}$ einstellen. Zur Kontrolle der Geschwindigkeit dient ein in den Ankerstromkreis des Motors gelegtes Voltmeter, dessen Ausschlag der Umdrehungsgeschwindigkeit des Zylinders etwa proportional ist.

Die Registrierung des Nystagmus und des Nachnystagmus erfolgte mit der Elektronystagmographie. Sie beruht auf der Abnahme von Potentialschwankungen in der Umgebung der Augen, die durch das corneo-retinale Potential bei Augenbewegungen entstehen. Dazu wurden zwei Silberelektroden seitlich an die Augen, an die temporalen Lidwinkel, angelegt, sie wurden zur besseren Leitfähigkeit mit einer Elektrolytpaste gefüllt. Die Haut wurde

vorher an diesen Stellen mit warmem Wasser und Seife entfettet, um den Übergangswiderstand herabzusetzen. Die Erdung erfolgte durch Metallklammern, die an den Ohrläppchen befestigt wurden. Bei der Ableitung vom rechten zum linken Lidwinkel - bipolare Ableitung - besteht beim Blick geradeaus kein Spannungsgefälle, wenn die Elektroden symmetrisch angelegt wurden. Beim Blick nach rechts erfolgt dann eine von der Null-Lage ausgehende Spannungszunahme am rechten Ableitungspunkt bei gleichzeitiger Spannungsabnahme am linken Ableitungspunkt. Beim Blick nach der anderen Seite entsteht eine Spannungsumkehr an beiden Elektroden. Bei dieser bipolaren Ableitungsweise summieren sich die Potentiale beider Augen. Gleichzeitig wurden die Potentialschwankungen in unipolarer Ableitung von der neben dem Auge angebrachten Elektrode gegen die indifferente Ohrelektrode abgeleitet. Dabei besteht auch beim Blick geradeaus eine Spannungsdifferenz zwischen den Ableitungspunkten. Bei Blickbewegungen nach den Seiten wird dann einmal eine Spannungszunahme, einmal eine Spannungsabnahme ausgelöst. Dabei ergeben koordinierte Augenbewegungen gegensinniges elektrisches Verhalten. Durch entsprechende Polung können jedoch gleichsinnige Augenbewegungen auch in gleichgerichteten Ausschlägen aufgezeichnet werden. Lidschläge sind bei der unipolaren Ableitung als gegeneinander gerichtete Ausschläge zu erkennen.

Eine quantitative Auswertung der bei den Augenbewegungen registrierten Potentialschwankungen ist nur nach den Kurven der bipolaren Ableitung möglich, da bei dieser Art der Ableitung

lineare Beziehung zwischen der Größe der Blickbewegungen und den dabei registrierten Kurvenausschlägen besteht (MACKENSEN, JUNG, GRÜTTNER). Diese Beziehung gilt für Blickbewegungen bis zu 30° nach rechts und links. Auch für größere Deviationen besteht keine wesentliche Abweichung von der Linearität. Eine Verzerrung der Kurven ist demnach nicht zu erwarten.

Die Aufzeichnung der Potentialschwankungen erfolgte mit einem speziellen Encephalographen der Firma Schwarzer. Dieser wurde für die Okulographie mit Spezialregistrierkanälen ausgerüstet, die eine maximale Empfindlichkeit von ca. 300 μV je cm haben. Die abgeleiteten Potentialschwankungen liegen in einem Bereich von einigen Zehntel Millivolt. Daher ist eine Verstärkung der Potentiale erforderlich. Diese erfolgt mit Wechselstromverstärkern, wobei Gleichspannungsanteile oder sehr langsame Potentialänderungen aus den aufgezeichneten Kurven nicht ersichtlich werden. Außerdem werden sehr kleine Potentialänderungen, wie sie z.B. bei Blickbewegungen der Augen bis zu 1° entstehen, nicht aufgezeichnet, besonders dann nicht, wenn ein niedriges Ruhepotential vorliegt.

Gleichzeitig mit der bipolaren Ableitung für beide Augen und mit den unipolaren Ableitungen für das rechte und das linke Auge wurden der Beginn und das Ende der optokinetischen Reizung und die Zeit in Sekunden registriert.

Für die Aufzeichnungen wird nach dem System der Firma Schwarzer ein normales, nicht präpariertes Registrierpapier verwendet,

auf welches die Schwankungen der Schreibzeiger mit einem besonderen Farbpapier übertragen werden (Trockenschreibung). An die Schreibzeiger ist ein Vibriersystem gelegt, um die Reibung herabzusetzen. Ein Spreizzeigersystem vergrößert die Ausschläge. Es erlaubt Auslenkungen um ± 20 mm.

Der Papiervorschub betrug 160 mm. Dadurch wurde eine Dehnung der Kurven erreicht, die eine genaue Analyse der Kurven ermöglichte. Vor jedem Versuch wurde das motorische Verhalten der Augen bei Dunkelheit registriert, woraus sich die Möglichkeit ergab, den Nachnystagmus von etwa schon vor einer Reizung vorhandenen Spontanrucken abzugrenzen.

Wegen der unterschiedlichen Höhe des corneo-retinalen Potentials bei den einzelnen Versuchspersonen mußte vor Beginn der optokinetischen Reizung eine Eichung durchgeführt werden. Dadurch konnte festgestellt werden, mit welcher Kurvenauslenkung sich Augenbewegungen einer bestimmten Deviationsgröße darstellten. Auf diese Weise war es möglich, aus den in Millimetern gemessenen Kurvenausschlägen die Winkelgröße der ausgeführten Augenbewegungen zu berechnen. Da zwischen der Größe der ausgeführten Blickbewegung und der dabei abgeleiteten Potentialhöhe annähernd direkte Proportionalität besteht, war für die Eichung die Bestimmung einer einzigen Deviationsgröße ausreichend. Zur Durchführung der Eichung wurden von der Versuchsperson Blickbewegungen um 20^{o} nach rechts und links durch abwechselndes Fixieren von 2 Fixationsobjekten auf einer merkpunktfreien weißen Fläche durchgeführt. Das arithmetische Mittel der dabei

registrierten Kurvenausschläge ergibt den Eichwert zur quantitativen Auswertung der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke.
Bei der Beurteilung des Nachnystagmus war zu beachten, daß sich das corneo-retinale Potential im Dunkeln ändert (KOLDER). Und zwar sinkt nach einer initialen Zunahme von 4 - 14% in der ersten Minute das Bestandpotential wieder ab, um dann wieder in das ursprüngliche Niveau zurückzukehren. Diese adaptationsabhängige Potentialänderung mußte bei den Berechnungen unberücksichtigt bleiben, die sich daraus ergebenden Veränderungen der Kurvenamplituden liegen im Bereich der Meßfehlerbreite.

Nach der Eichung wurde der Nystagmus bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit des Zylinders von 90^{o} sec^{-1} erzeugt. Die Versuchsperson mußte dabei aufmerksam geradeaus auf das Streifenmuster blicken. Dann wurde nach 60 sec Reizdauer das Licht plötzlich gelöscht und der Nachnystagmus bei völliger Dunkelheit registriert.

Während der Reizung wurden etwa 200 - 300 Nystagmusrucke ausgelöst, die Anzahl der Nachnystagmusrucke betrug im Mittel 40 - 80 Zuckungen.

Die Nystagmusrucke wurden einmal bei Rechtsdrehung, einmal bei Linksdrehung des Zylinders gewonnen. Zwischen beide Untersuchungen wurde jeweils eine Pause von 5 Minuten gelegt, um ein Nachwirken der einen Reizung auf die andere auszuschalten und um eine Ermüdung der Versuchsperson zu vermeiden.

Für diese Versuche eigneten sich nur Versuchspersonen, bei denen nach der optokinetischen Reizung auch viele Nachnystag-

musrucke zu registrieren waren. Es konnten deshalb von 15 Versuchspersonen nur 4 zur Auswertung herangezogen werden. Bei den übrigen Versuchspersonen waren trotz optimaler Versuchsbedingungen zu wenig Nachnystagmusrucke auszulösen, um davon Mittelwerte berechnen zu können.

Von den ausgewählten 4 Versuchspersonen im Alter von 21-24 Jahren war eine Versuchsperson geringgradig kurzsichtig. Während des Versuches wurde jedoch keine Brille getragen, um eine Einengung des Gesichtsfeldes zu verhindern. Die andern 3 Versuchspersonen waren normalsichtig.

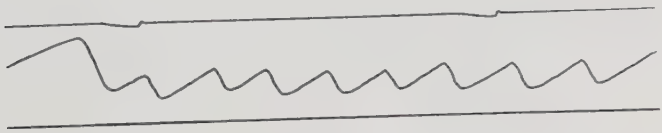

Abb. 1. Ausschnitt aus einer Orginalkurve eines Linksnystagmus.

Ein Beispiel für die gewonnenen Kurven zeigt Abb. 1. Es handelt sich um einen Ausschnitt aus der Orginalkurve eines Linksnystagmus. Als Amplitude wird die Differenz der Kurvenumkehrpunkte gemessen. Daraus läßt sich mit Hilfe des Eichwertes das Bewegungsausmaß der Augen in Winkelgraden errechnen. In der Abszisse des Registrierpapiers ist die Zeit in Millimeterintervallen abgetragen. Die Augenbewegungskurve stellt demnach eine Zeit - Weg - Kurve dar.

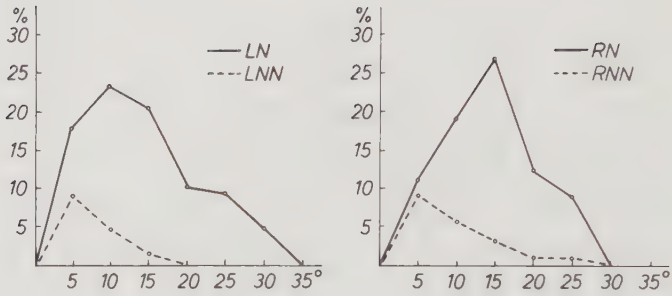

Abb. 2. Häufigkeitsverteilungen der Nystagmus- und Nachnystagrucke bei Vp. M.,H. (LN = Linksnystagmus, LNN = Linksnachnystagmus, RN = Rechtsnystagmus, RNN = Rechtsnachnystagmus.)

In Abb. 2 sind von Versuchsperson M.,H. alle gemessenen Amplitudenwerte des Nystagmus und Nachnystagmus in Häufigkeitsverteilungen aufgezeichnet. Die Ordinate gibt den prozentualen Anteil an der Gesamtsumme aller Rucke des Nystagmus und des Nachnystagmus an, auf der Abszisse ist die Größe der einzelnen Augenbewegungen in Winkelgraden abgetragen. Die Häufigkeitskurve des Nachnystagmus hat ihr Maximum bei wesentlich geringeren Amplitudengrößen als der Nystagmus, außerdem ist die Gesamtsumme der Nachnystagmusrucke viel niedriger als die Anzahl der Nystagmusrucke. Unterschiede in den Verteilungskurven des Rechts- und Linksnystagmus und Nachnystagmus sind vorhanden, wobei der Rechtsnystagmus gewöhnlich etwas mehr Rucke aufweist.

In der Auswertung der Kurven reicht zu einer Charakterisierung der Geschwindigkeit der raschen Phase die Ermittlung der mittleren Phasengeschwindigkeit, die häufig in der Literatur angegeben wird, nicht aus. Wenn wir den Geschwindigkeitsablauf kennen lernen wollen, muß vielmehr an verschiedenen Punkten der Kurve die mittlere Geschwindigkeit eines bestimmten - möglichst kurzen - Zeitintervalls berechnet werden.

Die Kurven wurden zur Berechnung des Geschwindigkeitsablaufes mit starker Zeitdehnung (Papiervorschub 160 mm) registriert. Die so erhaltenen Kurven wurden dann noch mit einem Epidiaskop in der Projektion 6 - 8 fach vergrößert. Der Vergrößerungsfaktor der Kurven wurde durch den Eichwert bestimmt; er wurde stets so gewählt, daß Augenbewegungen um 1^{o} auf dem Projektionsschirm 5 mm groß erschienen.

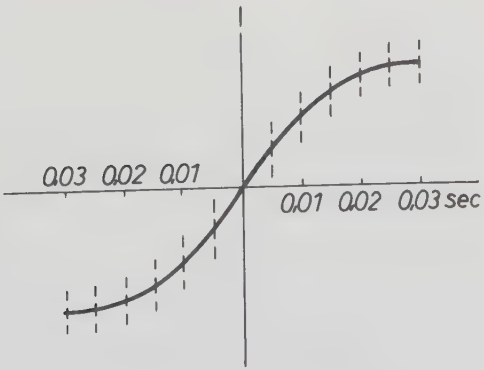

Abb. 3. Kurve eines Nachnystagmusruckes von 10^{o} mit einer Zeitteilung von 1/200 sec.

In Abb. 3 ist eine derartige Kurve dargestellt. Durch den Schnittpunkt der Amplitudenhalbierenden mit dem Kurvenzug wurde ein Koordinatensystem als Ausgang für die Messungen gelegt. Dieser Punkt auf der Hälfte des von den Augen zurückgelegten Weges ist genau zu bestimmen. Beginn und Ende einer raschen Phase sind dagegen wegen der geringen Geschwindigkeit an den Umkehrpunkten nur unsicher anzugeben. Die Ausmessung der verschiedenen Kurvensteigungen erfolgte in Intervallen von 1/200 sec. Dazu wurde auf die Kurve eine entsprechende Zeitteilung projiziert. An den verschiedenen Schnittpunkten dieser Zeitteilung mit dem Kurvenzug wurde dann die jeweilige Amplitudenhöhe in Millimetern abgelesen, die mit Hilfe des Eichwertes in Winkelgrade umgerechnet wurde. So ist die Geschwindigkeit in Winkelgraden pro Zeiteinheit für jeden Kurvenabschnitt ermittelt worden. Es wurden aber nicht nur die Kurven einer Nystagmuszuckung und einer Nachnystagmuszuckung bestimmter Größe, sondern die arithmetischen Mittelwerte von je 10 gleichgroßen Zuckungen ausgemessen. Die Berechtigung zur Mittelwertsbildung ergibt sich, wie Abb. 4 zeigt, aus der relativ geringen Streuungsbreite der Nystagmus und Nachnystagmusrucke gleicher Amplitude.

Die Streuung der Nachnystagmusrucke ist etwas größer als die gleichgroßer Zuckungen des Nystagmus. Aber auch hier sind die Abweichungen vom arithmetischen Mittel noch relativ gering, sodaß es ohne weiteres als angängig erscheint, Mittelwertskurven zu bilden.

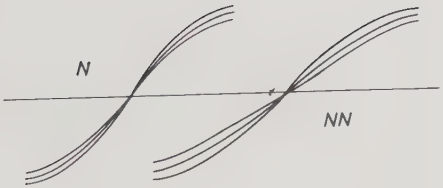

Abb. 4. Standardabweichung der 5^{0} Rucke des Nystagmus (N) und Nachnystagmus (NN) bei Vp. S.,D., ermittelt aus 40 Einzelwerten des Nystagmus und 15 Einzelwerten des Nachnystagmus.

Beim Nystagmus fanden sich fast immer 10 Rucke gleichgroßer Amplitude (bei einer Streuung von $\pm$ 1 Grad), die zu Mittelwertsrucken zusammengefaßt werden konnten. Dagegen waren beim Nachnystagmus nicht immer 10 Rucke derselben Größe in einer Schlagrichtung vorhanden, besonders bei Rucken größerer Amplitude standen oft nur 3 oder 4 Rucke für die Mittelwertsberechnung zur Verfügung.

Grenzen der Genauigkeit des Meßverfahrens und Fehlermöglichkeiten: Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß sich die Höhe des corneo-retinalen Potentials im Dunkeln ändert. Das bringt in geringen Dimensionen eine laufende Verfälschung der Eichwerte mit sich. Diese mit der Dunkeladaptation eintretende geringe Unge-

nauigkeit ist nicht zu vermeiden, da zur Auslösung des Nachnystagmus unbedingt völlige Dunkelheit erforderlich ist. Auch eine Wiederholung der Eichung am Ende des Nachnystagmus wäre nicht genauer, da die Potentialhöhe in der Dunkelheit ständigen Änderungen unterworfen ist.

Eine weitere Störung der Kurven ist durch Lidschläge möglich, die wie Augenbewegungen Kurvenauslenkungen bewirken. Im allgemeinen sind sie an den gegensinnigen Auslenkungen in den Kurven der unipolaren Ableitungen und an ihrer charakteristischen Form zu erkennen. Wenn jedoch ein Lidschlag mit einem Nystagmus- oder Nachnystagmusruck zusammenfällt, so wird dieser in seiner Form abgewandelt. Rucke, die offenbar durch Lidschläge verändert waren, wurden zur Mittelwertsbildung nicht herangezogen.

Trotz der Vergrößerung der Kurven ist die Genauigkeit beim Ablesen der einzelnen Kurvenpunkte und beim Bestimmen des Schnittpunktes der Amplitudenhalbierenden mit dem Kurvenzug beschränkt. Die Genauigkeit im Ablesen kann in der projizierten Kurve höchstens 1/2 mm betragen, vorausgesetzt daß keine unterschiedliche Strichdicke des Kurvenzuges vorliegt. Dabei kann ein Fehler von $1/10^{\circ}$ entstehen, wenn - wie dies in der Projektion der Kurven eingestellt wurde - 5 mm Kurvenamplitude 1° Deviation entsprechen. In der Umrechnung auf Winkelgeschwindigkeiten kann sich daraus ein Fehler von $20^{\circ}sec^{-1}$ ergeben, wenn die Geschwindigkeiten für Bereiche von 1/200 sec bestimmt werden. Die Unterschiede heben sich jedoch bei der Mittelwertsbestimmung bei großer Anzahl von Beobachtungen wieder auf.

Störungen durch Belichtungspotentiale sind nicht zu erwarten, diese Potentiale sind wesentlich niedriger als das corneoretinale Potential. Auch Hirnaktionspotentiale erlangen bei der Ableitung im frontalen Bereich keinen wesentlichen Einfluß.

E R G E B N I S S E

Der Bewegungsablauf der raschen Phase des optokinetischen Nystagmus und Nachnystagmus ist durch die Zeit - Weg - Kurven charakterisiert. Diese haben, wie Abb. 5 zeigt, Ähnlichkeit mit der halben Periode einer Sinusschwingung.

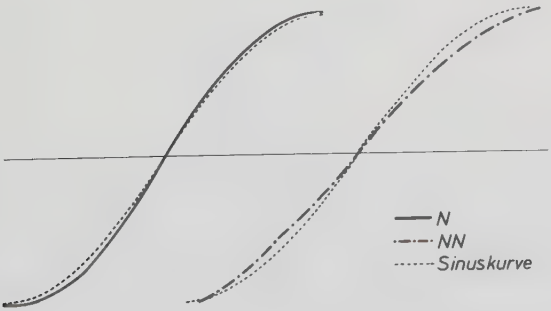

Abb. 5. Mittelwertskurven von Rucken eines Rechtsnystagmus und Nachnystagmus im Vergleich mit der halben Periode einer Sinusschwingung derselben Frequenz und Amplitude.

In Abb. 5 wurde ein Nystagmusruck und ein Nachnystagmusruck, jeweils als Mittelwertskurve aus 10 gleichroßen Rucken, mit einer Sinuskurve derselben Frequenz und Amplitude verglichen. Dabei zeigte sich, daß beim Nystagmus die Differenz von der Sinuskurve hauptsächlich im ersten Teil der Kurve liegt, und zwar verläuft die Nystagmuskurve in der ersten Hälfte zunächst flacher, dann steiler als die Sinusschwingung. Beim Nachnystagmus dagegen ist der Unterschied gegenüber dem Verlauf der Sinuskurve etwas größer, außerdem weicht die Nachnystagmuskurve in umgekehrter Richtung von der Sinuskurve ab als der Nystagmus: Die Nachnystagmuskurve ist anfangs steiler, dann flacher als die Sinuskurve in der ersten Hälfte des Verlaufes, in der zweiten Hälfte verläuft die Nachnystagmuskurve erst flacher, dann steiler als die Sinuskurve. Daraus ergeben sich nicht nur die Unterschiede im Verlauf der Sinuskurve verglichen mit den Nystagmus und Nachnystagmusrucken, sondern auch der unterschiedliche Kurvenverlauf des Nystagmus und des Nachnystagmus werden daraus ersichtlich.

In Abb. 6 wird dieser Unterschied zwischen Nystagmus- und Nachnystagmus noch deutlicher, sie zeigt den Bewegungsablauf der raschen Nystagmus- und Nachnystagmusphase. In dieser Abbildung sind die gleichgroßen Rucke eines Rechtsnystagmus und Nachnystagmus einer Versuchsperson übereinander gezeichnet worden. Jede Kurve ist aus Mittelwertsberechnungen von ca. 10 Kurven gleicher Amplitude entstanden. Auf die Wiedergabe des Linksnystagmus und Linksnachnystagmus derselben

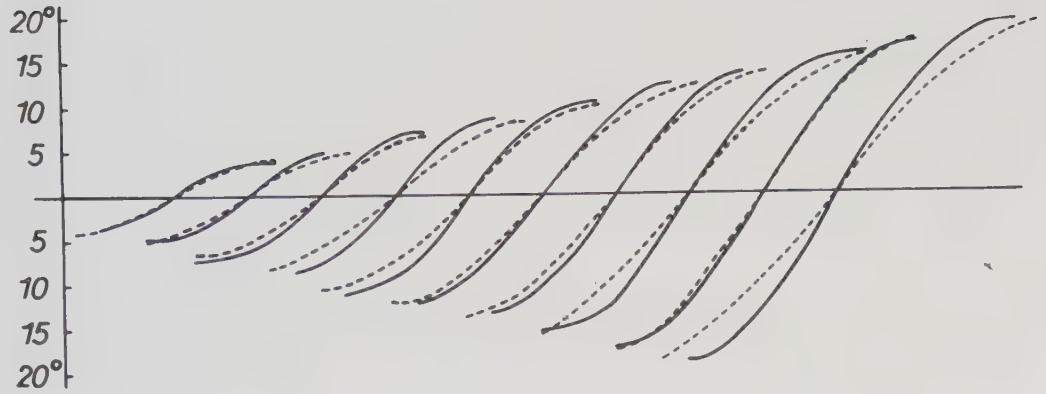

Abb. 6. Bewegungsablauf der raschen Phase des Rechtsnystagmus und Nachnystagmus bei Vp. M.,H. (Nystagmus durchgehend gezeichnet, Nachnystagmus gestrichelt gezeichnet.)

Versuchsperson, sowie auf die Darstellungen der Nystagmus und Nachnystagmusrucke der übrigen Versuchspersonen konnte verzichtet werden, sie entsprechen in ihren wesentlichen Eigenschaften den in Abb. 6 abgebildeten Kurven.

Mit nur wenigen Ausnahmen zeigen alle Nachnystagmusrucke deutliche Abweichungen vom Verlauf gleichgroßer Nystagmusrucke. Dieser Unterschied im Kurvenverlauf ist bei den verschiedenen Versuchspersonen immer gleichartig, sodaß eine Gesetzmäßigkeit in der Abweichung vom Nystagmusverlauf angenommen werden darf.

Wie aus Abb. 6 hervorgeht, sind Anfang und Ende einer Nystagmus- bezw. Nachnystagmuszuckung durch einen flachen Kurvenverlauf charakterisiert. Dieser Kurvenabschnitt, in dem die Augenbewegung zunächst langsam anläuft und zum Schluß wieder abgebremst wird, erscheint bei den Nystagmus- und Nachnystagmuszuckungen im Prinzip ähnlich, in den Kurven des Nachnystagmus ist diese Anlaufzeit und Abbremszeit der Augenbewegungen aber etwas kürzer und nicht so deutlich ausgeprägt. Auch erfolgt der Beginn und das Ende der Nachnystagmusrucke mit einem etwas steileren Kurvenanstieg, d.h. mit einer größeren Geschwindigkeitsänderung in der Zeiteinheit. In dem dazwischenliegenden mittleren Kurvenabschnitt verläuft dann die Nachnystagmuskurve etwas flacher als die Kurve einer gleich großen Nystagmuszuckung, die Nachnystagmuszuckungen werden demnach in ihrem mittleren Anteil etwas langsamer ausgeführt.

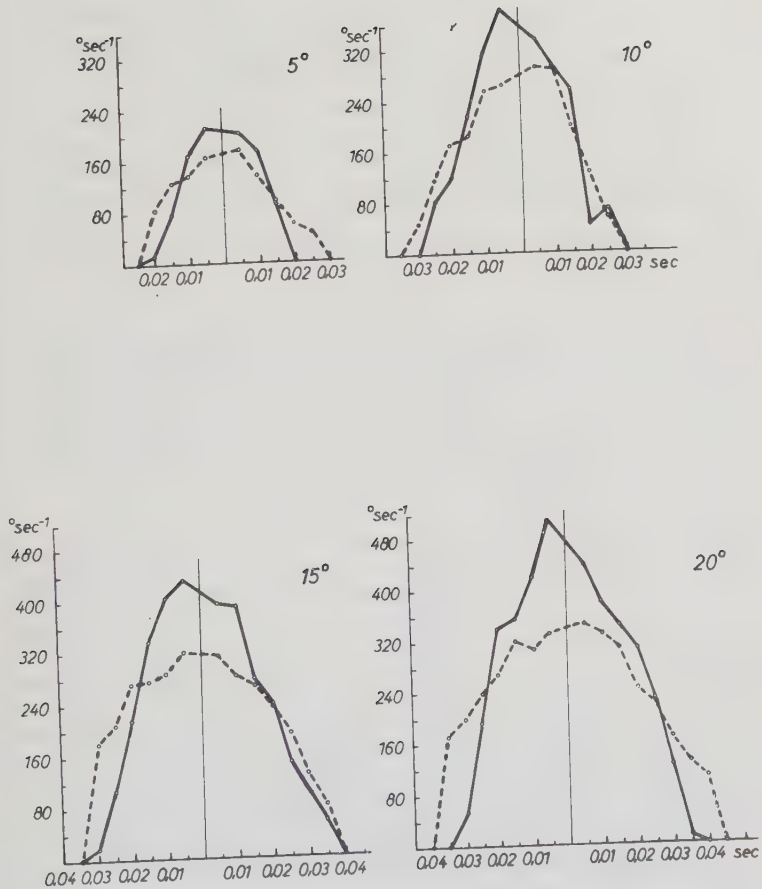

Abb. 7. Geschwindigkeitsablauf der Amplituden 5^{o}, 10^{o}, 15^{o} und 20^{o} der raschen Phase eines Rechtsnystagmus und Nachnystagmus bei Vp. M.,H. (Nystagmus durchgehend gezeichnet, Nachnystagmus gestrichelt gezeichnet.)

Abb. 7 zeigt den Geschwindigkeitsablauf der Rechtsnystagmus- und Rechtsnachnystagmusrucke bei Vp. M.,H., auch hier sind die Kurven der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke gleichgroßer Amplitude übereinander gezeichnet dargestellt. Die Werte der Geschwindigkeitskurven des Nystagmus und Nachnystagmus aller Versuchspersonen, die ebenfalls als Mittelwertskurven aus jeweils etwa 10 Kurven gleichgroßer Augenbewegungen berechnet wurden, sind aus den Tabellen am Schluß dieser Arbeit zu ersehen.

Die Geschwindigkeitskurven sind aus der Berechnung der durchschnittlichen Geschwindigkeit für Zeitabschnitte von jeweils 1/200 sec entstanden. Sie zeigen die Geschwindigkeitsänderung der Augenbewegung in der Zeiteinheit an.

Auch diese Kurven lassen erkennen, daß der Kurvenverlauf des Nachnystagmus im Ganzen gesehen etwa demjenigen des Nystagmus entspricht, daß aber dennoch feine Unterschiede im Kurvenverlauf vorkommen. Diese beziehen sich in der Hauptsache auf die beim Nachnystagmus immer etwas niedrigeren Geschwindigkeitskurven. Sie zeigen, daß die Nachnystagmuszuckung in ihrem Verlauf keine so hohen Geschwindigkeitswerte erreicht wie der Nystagmus, was bereits bei den Kurven des Bewegungsablaufes durch den insgesamt flacheren Kurvenverlauf des Nachnystagmus zum Ausdruck kam. Außerdem wird die Maximalgeschwindigkeit beim Nachnystagmus im Gegensatz zum Nystagmus um die Kurvenmitte herum einige Zeit gehalten, d.h., der Bereich gleichbleibender Geschwindigkeit ist beim Nachnystagmus deutlicher ausgeprägt als beim Nystagmus.

Auch der Anstieg und Abfall der Geschwindigkeit ist bei den Kurven des Nystagmus und Nachnystagmus verschieden, entsprechend den oben genannten Unterschieden am Beginn und Ende der Kurven des Bewegungsablaufes: Die Geschwindigkeitskurven des Nachnystagmus zeigen zu Beginn und am Ende noch etwas raschere Geschwindigkeitsänderungen als die Kurven des Nystagmus, was auch wieder bedeutet, daß die Anlauf und Abbremszeit der Augenbewegung beim Nachnystagmus kürzer und weniger deutlich ausgeprägt ist.

Die Maximalgeschwindigkeiten der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke aller 4 Versuchspersonen sind in Tabelle 1 zusammengestellt und in Abb. 8 von einer Versuchsperson als Funktion der Größe der Augenbewegung graphisch dargestellt worden.

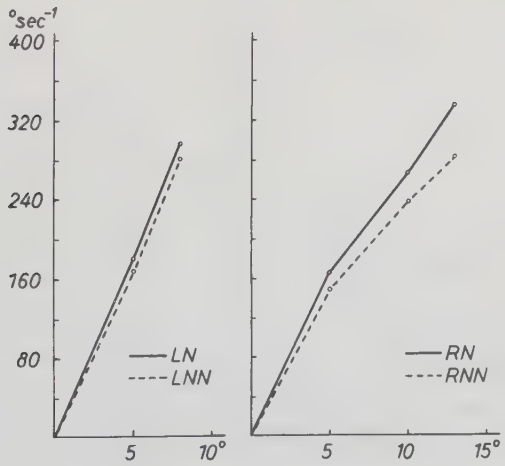

Abb. 8. Maximalgeschwindigkeiten der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke bei Vp. S.,D. (LN = Linksnystagmus, LNN = Linksnachnystagmus, RN = Rechtsnystamus, RNN = Rechtsnachnystagmus.)

Tabelle 1

Vp.	Ny.	Ruckgröße 5^{o}	10^{o}	15^{o}	20^{o}	25^{o}
W.,L.	LN	232	288	352	-	-
	LNN	192	284	348	-	-
	RN	216	320	-	-	-
	RNN	212	328	-	-	-
S.,D.	LN	180	296	-	-	-
	LNN	168	280	-	-	-
	RN	172	264	332	-	-
	RNN	148	244	280	-	-
M.,H.	LN	228	364	-	-	488
	LNN	220	300	-	-	480
	RN	212	384	432	508	544
	RNN	176	292	320	348	468
W.,R.	LN	196	288	-	-	-
	LNN	172	292	-	-	-
	RN	216	288	-	-	-
	RNN	176	268	-	-	-

Maximalgeschwindigkeiten (^{o} sec $^{-1}$)

Die Kurven und die Tabelle der Maximalgeschwindigkeiten zeigen nochmals, daß bei allen Versuchspersonen der Nachnystagmus keine so große Höchstgeschwindigkeit erreicht wie der Nystagmus. Für den Nystagmus wie für den Nachnystagmus gilt, daß der Unterschied der Maximalgeschwindigkeiten zwischen Rucken von 5^{o} und 10^{o} größer ist als zwischen Rucken von 10^{o} und 15^{o}; und zwischen Rucken von 10^{o} und 15^{o} wieder größer ist als zwischen den Amplituden von 15^{o} und 20^{o}. Unterschiede zwischen Rechts- und Linksnystagmus und zwischen Rechts- und Linksnachnystagmus sind vorhanden, sie sind aber nicht einheitlich.

Die Dauer der Nystagmus und Nachnystagmusrucke wurde in Tabelle 2 jeweils als Mittelwerte von ca. 10 Kurven gleicher Amplitude und Schlagrichtung zusammengestellt, sie ist als Funktion der Winkelbewegung der Augen in Abb. 9 bei einer Versuchsperson graphisch dargestellt worden.

Tabelle 2

		Ruckgröße				
Vp.	Ny.	5°	10°	15°	20°	25°
W.,L.	LN	0,045	0,055	0,070	-	-
	LNN	0,040	0,055	0,070	-	-
	RN	0,040	0,055	0,065	-	-
	RNN	0,045	0,060	0,070	-	-
S.,D.	LN	0,045	0,050	-	-	-
	LNN	0,065	0,055	-	-	-
	RN	0,055	0,065	0,070	-	-
	RNN	0,050	0,070	0,080	-	-
M.,H.	LN	0,040	0,045	0,055	-	-
	LNN	0,035	0,045	0,064	-	-
	RN	0,035	0,050	0,065	0,065	-
	RNN	0,045	0,055	0,065	0,075	-
W.,R.	LN	0,050	0,075	-	-	-
	LNN	0,050	0,070	-	-	-
	RN	0,040	0,065	0,080	-	-
	RNN	0,055	0,065	0,075	-	-

Ruckdauer (sec)

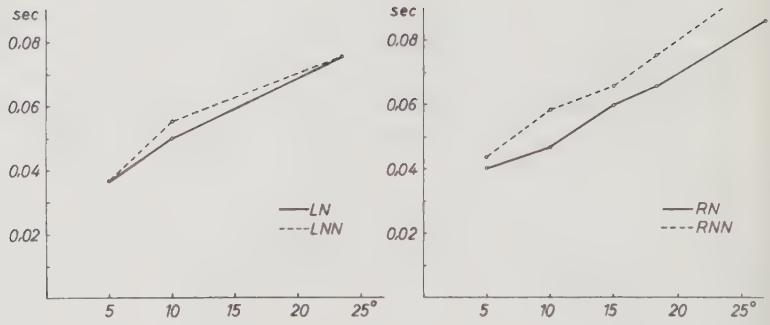

Abb. 9. Dauer der Rucke in Abhängigkeit von der Größe der Augenbewegungen bei Vp. M.,H. (LN = Linksnystagmus, LNN = Linksnachnystagmus, RN = Rechtsnystagmus, RNN = Rechtsnachnystagmus.)

Aus Tabelle 2 und Abb. 9 wird deutlich, daß die Rucke des Nachnystagmus häufig etwas mehr Zeit in Anspruch nehmen als die Nystagmusrucke. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß die Dauer der einzelnen Zuckungen nicht genau erfaßt werden kann, was bereits früher schon erwähnt wurde. Beim Nystagmus wie beim Nachnystagmus steigt die Dauer mit der Größe der Augenbewegungen zwischen 5 und 25° annähernd linear an. Unregelmäßigkeiten im linearen Verlauf ergeben sich ebenfalls aus der früher besprochenen Schwierigkeit, Anfang und Ende einer Augenbewegung genau zu bestimmen. Die Dauer gleichgroßer Rucke ist bei derselben Person für verschiedene Bewegungsrichtungen etwa gleich groß, es finden sich nur geringe und nicht systematische Abweichungen.

BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Die Versuche über den Ablauf der Augenbewegung einer raschen Nachnystagmusphase zeigten, daß bei allen Versuchspersonen die Nachnystagmusrucke und Nystagmusrucke große Ähnlichkeit haben. Es fanden sich jedoch im Kurvenverlauf des Nystagmus und Nachnystagmus charakteristische Abweichungen, die bei allen Versuchspersonen regelmäßig auftraten, sodaß trotz der Fehlermöglichkeiten, die anfangs besprochen wurden, die Nachnystagmusrucke von den Nystagmusrucken unterschieden werden können.

Die Besonderheiten des Geschwindigkeitsablaufes der raschen Nystagmusphase, die von SCHUMACHER beschrieben wurden und die nach MACKENSEN mit dem Ablauf von Blickbewegungen übereinstimmen, konnten nur beschränkt bei der raschen Phase des Nachnystagmus gefunden werden. SCHUMACHER beschrieb beim Nystagmus, daß das Geschwindigkeitsmaximum des Nystagmus immer schon vor der Hälfte des Weges erreicht wird. Dies trifft jedoch, wie diese Untersuchungen über den Nachnystagmus ergaben, für den Nachnystagmus nicht zu, der Nachnystagmus hält um die Kurvenmitte herum seine Höchstgeschwindigkeit längere Zeit fast gleichbleibend, der Gipfel wird einmal vor, einmal nach der Hälfte des Weges erreicht. Auch die von SCHUMACHER gefundene Tatsache, daß beim Nystagmus die maximale Beschleunigung größer ist als die maximale Verzögerung der Geschwindigkeit, konnte für den Nachnystagmus nicht bestätigt werden, der Anstieg und Abfall der Geschwindigkeit

verläuft beim Nachnystagmus ohne besondere Bevorzugung der Beschleunigung oder Verzögerung.

Übereinstimmend mit den von SCHUMACHER für den Nystagmus gewonnenen Feststellungen ist, daß auch beim Nachnystagmus die Maximalgeschwindigkeiten bei größer werdenden Nachnystagmusrucken zuerst schnell, dann langsam zunehmen und daß die Dauer der Nachnystagmusrucke mit der Größe der Augenbewegungen zwischen 5 und 25° annähernd linear ansteigt. Auch gleichen die Nystagmus- wie die Nachnystagmusrucke der halben Periode einer Sinusschwingung.

Die bei diesen Versuchen für den Nachnystagmus gewonnenen charakteristischen Eigenschaften, durch die dieser sich vom Nystagmus unterscheidet, bestehen einmal darin, daß die Anlaufzeit und Abbremszeit der Nachnystagmusrucke etwas kürzer, dafür aber mit einer größeren Geschwindigkeit verläuft. Der zweite wesentliche Unterschied ist der, daß der mittlere Kurvenanteil des Nachnystagmus flacher verläuft und dabei keine so hohe Maximalgeschwindigkeit erreicht, aber diese Höchstgeschwindigkeit um die Kurvenmitte herum längere Zeit beibehält. Die häufig etwas längere Dauer der Nachnystagmusrucke konnte nicht als Unterschied bewertet werden, da diese, wie oben beschrieben, nur unsicher bestimmt werden konnte.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei 4 Versuchspersonen wurde der Verlauf der raschen Phase des Nachnystagmus untersucht. Zur Auslösung des Nystagmus und Nachnystagmus wurde ein Drehzylinder benutzt. Die Aufzeichnung erfolgte nach dem Verfahren der Elektronystagmographie. Die Registrierung des Nachnystagmus wurde bei völliger Dunkelheit vorgenommen, um eine genügend große Anzahl von Nachnystagmusrucken zu erhalten. Es wurden insgesamt 828 Rucke ausgemessen und ausgewertet, und zwar 542 Nystagmusrucke und 286 Nachnystagmusrucke. Zur genauen Ausmessung des Bewegungsablaufes wurden die Kurven in Zeitdehnung aufgeschrieben, was durch einen Papiervorschub von 16 mm sec^{-1} erreicht wurde. Durch die Projektion der Kurven in 5 - 10 facher Vergrößerung konnten diese in Abständen von 1/200 sec ausgemessen werden. Aus jeweils etwa 10 Kurven gleicher Amplitude wurden Mittelwerte gebildet, um Fehlermöglichkeiten auszugleichen. Daraus ergaben sich die Durchschnittskurven des Bewegungsablaufes des Nystagmus und Nachnystagmus. Zur Charakterisierung des Geschwindigkeitsablaufes wurde die mittlere Geschwindigkeit von Zeitabständen von 1/200 sec errechnet und die Werte graphisch dargestellt.

Zur Untersuchung der raschen Nachnystagmusphase und zum Vergleich derselben mit der raschen Nystagmusphase wurden außer dem Bewegungs- und Geschwindigkeitsablauf noch die Streuungsbreite gleichgroßer Augenbewegungen untersucht, außerdem das

Bild der Kurven mit der halben Periode einer Sinusschwingung verglichen. Es wurde ferner die Höhe der Maximalgeschwindigkeiten und die Dauer der Rucke bestimmt. Aus diesen Berechnungen und der graphischen Darstellung der Werte ergaben sich das charakteristische Verhalten der raschen Phase des Nachnystagmus und die Unterschiede im Vergleich zur raschen Phase des Nystagmus.

Die Versuche und Meßergebnisse zeigten, daß die Nachnystagmusrucke trotz der prinzipiellen Ähnlichkeit mit Nystagmusrucken Unterschiede im Kurvenverlauf aufweisen, die bei allen Versuchspersonen regelmäßig auftraten.

Bei der Untersuchung der charakteristischen Eigenschaften des Nachnystagmus und beim Vergleich derselben mit dem Nystagmus ergab sich, daß übereinstimmend mit dem Nystagmus die Nachnystagmusrucke annähernd Sinusform haben. Auch die Maximalgeschwindigkeiten nehmen bei größer werdenden Nachnystagmusrucken zuerst schnell, dann langsam zu, was auch für den Nystagmus gilt. Ebenfalls entspricht dem Nystagmus, daß die Dauer der Nachnystagmusrucke mit der Größe der Augenbewegungen zwischen 5 und 25° linear ansteigt.

Die gefundenen Unterschiede im Ablauf der Nachnystagmuszuckung beziehen sich einmal auf die raschere Anlauf- und Abbremszeit der Augenbewegungen, zum andern auf die beim Nachnystagmus immer etwas niedrigere Maximalgeschwindigkeit. Diese wird aber um die Kurvenmitte herum längere Zeit fast in gleichbleibender Höhe beibehalten. Daraus resultiert der beim Nachnystagmus flachere und gleichförmigere Bewegungsablauf der Kurven.

Die beim Nachnystagmus häufig etwas längere Dauer der Rucke konnte nicht als Unterschied gewürdigt werden, da die Rückdauer nur unsicher zu bestimmen ist.

Die gefundenen Unterschiede von Nachnystagmus und Nystagmus bewegen sich jedoch nur in kleinen Dimensionen. Deshalb ist es bei einer beliebigen Kurve nicht von vorn herein zu entscheiden, ob es sich um einen Nystagmus- oder um einen Nachnystagmus handelt.

Tabelle III

Geschwindigkeitswerte der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke bei Versuchsperson W.,L.

Nystag-mus	Ampli-tude	Zeitteilung in Sekunden 0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
LN	5^{o}	-	40	160	120	40	-
LNN	5^{o}	-	40	120	160	40	-
LN	10^{o}	-	120	240	240	120	80
LNN	10^{o}	40	120	200	240	160	-
LN	15^{o}	40	240	320	240	200	160
LNN	15^{o}	120	240	280	240	200	160
RN	5^{o}	-	40	160	160	40	-
RNN	5^{o}	-	80	120	160	40	-
RN	10^{o}	-	160	240	240	120	40
RNN	10^{o}	40	120	200	240	160	120
RN	15^{o}	-	160	320	280	200	40
RNN	15^{o}	40	160	320	280	120	40

Geschwindigkeit ($^{o}\,sec^{-1}$)

Tabelle IV

Geschwindigkeitswerte der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke bei Versuchsperson S.,D.

Nystag- mus	Ampli- tude	Zeitteilung in Sekunden 0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
LN	5^{o}	-	40	200	160	40	-
LNN	5^{o}	40	80	120	120	80	40
RN	5^{o}	-	80	120	160	40	40
RNN	5^{o}	-	80	120	80	80	40
RN	10^{o}	-	200	280	240	160	80
RNN	10^{o}	120	160	200	200	160	120

Geschwindigkeit ($^{o}\,sec^{-1}$)

Tabelle V

Geschwindigkeitswerte der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke bei Versuchsperson M.,H.

Nystag-mus	Ampli-tude	Zeitteilung in Sekunden 0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
LN	5^{o}	-	80	160	160	40	-
LNN	5^{o}	-	40	160	240	-	-
LN	10^{o}	40	160	360	320	160	-
LNN	10^{o}	80	200	360	240	160	160
LN	25^{o}	160	400	440	400	440	160
LNN	25^{o}	200	400	400	400	320	280
RN	5^{o}	-	40	160	160	-	-
RNN	5^{o}	-	80	120	160	80	-
RN	10^{o}	-	120	280	320	40	-
RNN	10^{o}	40	160	240	320	110	-
RN	15^{o}	40	200	400	400	240	40
RNN	15^{o}	200	280	280	280	240	160
RN	20^{o}	80	360	400	360	320	160
RNN	20^{o}	200	280	320	320	240	160
RN	25^{o}	280	440	480	400	360	360
RNN	25^{o}	240	400	280	360	360	320

Geschwindigkeit ($^{o}\ sec^{-1}$)

Tabelle VI

Geschwindigkeitswerte der Nystagmus- und Nachnystagmusrucke bei Versuchsperson W.,R.

Nystagmus	Amplitude	Zeitteilung in Sekunden 0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
LN	5^{o}	-	40	120	120	80	-
LNN	5^{o}	-	80	160	160	40	-
LN	10^{o}	-	120	180	240	120	40
LNN	10^{o}	-	160	160	160	160	-
LN	15^{o}	80	160	320	280	160	80
LNN	15^{o}	80	200	200	240	160	160
RN	5^{o}	-	40	160	200	40	-
RNN	5^{o}	-	80	160	160	80	40
RN	10^{o}	40	120	240	240	160	40
RNN	10^{o}	40	120	280	200	160	80
RN	15^{o}	-	240	280	280	200	80
RNN	15^{o}	80	160	280	240	160	80

Geschwindigkeit ($^{o} \cdot sec^{-1}$)

LITERATURVERZEICHNIS

KOLDER,H.: Spontane und experimentelle Änderungen des Bestandpotentials des menschlichen Auges. Pflügers Arch. ges. Physiol. 268, 258-272 (1959).

KRIEGER,H.P.and M.B.BENDER: Optokinetic afternystagmus in the monkey. EEG clin.Neurophysiol. 8, 97-106 (1956).

MACKENSEN,G.: Untersuchungen zur Physiologie des optokinetischen Nystagmus. Über Möglichkeiten einer willkürlichen Beeinflussung des Nystagmus. Klin. Mbl. Augenheilk. 123, 133-143 (1953).

ders.: Untersuchung zur Physiologie des optokinetischen Nystagmus. Individuell bedingte qualitative Unterschiede im Ablauf des optokinetischen Nystagmus. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 155, 284-313 (1954).

ders.: Die Geschwindigkeit horizontaler Blickbewegungen. Albrecht v.Graefes Arch.Ophthal. 160, 47-64 (1958).

ders.: Zur Theorie des optokinetischen Nystagmus. Klin. Mbl. Augenheilk. 132, 769-780 (1958).

SCHUMACHER,J.: Untersuchung über die Geschwindigkeit der raschen Phase des optokinetischen Nystagmus. Inaug. Diss. Tübingen 1959.

L E B E N S L A U F

Am 19. Dezember 1937 wurde ich, Linde Waidelich, als Tochter des Stadtrates Dr. Ernst Waidelich und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Schäfer, in Stuttgart geboren. Dort besuchte ich von 1943 bis 1947 die Grundschule, und von 1947 bis zum Abitur im März 1956 das Hölderlin-Gymnasium Stuttgart. Die vorklinischen Semester belegte ich in Tübingen. In den klinischen Semestern studierte ich in München und Tübingen, dort habe ich im Dez. 1961 das Staatsexamen bestanden. Seither war ich als Medizinalassistentin im Wilhelmhospital in Stuttgart und im Kreiskrankenhaus Otterndorf/NE beschäftigt. Zur Zeit verbringe ich einen Teil meiner MP-Zeit in der Universitäts Augenklinik Tübingen.

Fotodruck Frau Elly HUTH Tübingen